

1. Einleitung

1.1 Craniomandibuläre Dysfunktion (CMD)

Störungen der Kaufunktion werden heute unter dem Begriff „Craniomandibuläre Dysfunktion“ (CMD) zusammengefasst [1]. Diese Erkrankungen betreffen die Zähne, die Kaumuskulatur, die Kiefergelenke, Parodontien und mit diesen verbundene Strukturen, Nerven, Hals, Ohren, Kopf und Wirbelsäule. Bezüglich der Ätiologie dieser Funktionsstörungen wird eine multifaktorielle Pathogenese angenommen. Als Faktoren kommen unter anderem Stress, psychische und soziale Einflüsse, Bruxismus, Habits (z. B. Wangenkauen, Lippenbeißen, Zungenpressen), Traumata (Mikro- und Makrotraumen), Störungen im neurophysiologischen Zusammenspiel zwischen der Funktion der Zähne, der Muskulatur und den Kiefergelenken in Betracht. Durch zu hohe oder unphysiologische Belastungen an den Determinanten (Kiefergelenk, Zähne, Muskulatur, knöcherne und bindegewebige Strukturen des craniomandibulären Systems) kommt es zu Beschwerden.

Neben der klinischen und instrumentellen Funktionsanalyse durch einen erfahrenen Zahnarzt ist in Abhängigkeit von der Initialdiagnose auch eine ergänzende radiologische bzw. HNO-ärztliche Evaluation wünschenswert. Besonders die bildgebende Diagnostik hat sich in den letzten zwanzig Jahren grundsätzlich verändert. Sie ist durch die Entwicklung der Magnetresonanztomographie (MRT) immer wichtiger geworden. Mit Hilfe der MRT ist es heute möglich, innerhalb kürzester Messzeit (ca. 3-5 min pro Kiefergelenk und Projektionsebene) ein zweidimensionales Bild des Kiefergelenks mit hoher Bildauflösung und großer Detailgenauigkeit zu erhalten. Es werden nicht nur Hartgewebe (knöcherne Strukturen), sondern auch Weichgewebe wie Knorpel, Bänder, Gelenkkapseln und Muskulatur mit hoher Präzision dargestellt. In der aktuellen Literatur hat sich die Magnetresonanztomographie (Feldstärke: 1,5 Tesla) unter der Vielzahl der diagnostischen Methoden für die bildgebende Diagnostik zum Goldstandard entwickelt [2]. Ihr Vorteil ist die hohe Reproduzierbarkeit bei der Diskuspositionsbestimmung [3] und ihre Überlegenheit in der klinischen Funktionsanalyse [4]. Klinische Untersuchungen sind nur begrenzt in der Lage, spezifische Diagnosen zu differenzieren. Zur Überprüfung der klinischen Daten hat sich, insbesondere bei Verdacht einer Diskusverlagerung, die MRT bewährt [5]. Dieses

Diagnoseverfahren bietet dem Patienten Untersuchungskomfort durch kurze Messzeiten, nichtinvasives Vorgehen, ein hohes Maß an Diagnosesicherheit und fehlende Strahlenexposition durch ionisierende Strahlung. Besonders die Diagnosesicherheit ist ein zentrales Thema dieser Arbeit. Rammelsberg et al. konnten in einer Studie 2004 zeigen, dass es mehr Übereinstimmungen zwischen Radiologen und Zahnärzten aber auch zwischen Radiologen untereinander bei der Beurteilung von MR-Aufnahmen des Kiefergelenks gibt, wenn die Bildqualität höher ist. In dieser Studie ging es nicht nur um die Kalibrierung der einzelnen Untersucher, sondern es konnte gezeigt werden, dass allein durch Qualitätssteigerung der MRT-Aufnahmen des Kiefergelenks es möglich ist, auch bei nicht kalibrierten Begutachter zuverlässige und reproduzierbare Ergebnisse zu erzielen [6]. So führt eine höhere Bildqualität signifikant zu einer größeren Diagnosesicherheit. Mit Einführung der 3,0-T-MRT stellt sich die Frage, ob der theoretische Vorteil dieser Technologie auf die Kiefergelenksdiagnostik zu übertragen ist.

1.2 Das Temporomandibulargelenk (Articulatio temporomandibularis)

1.2.1 Aufbau und Topografie

Die gelenkige Verbindung zwischen Ober- und Unterkiefer entsteht beim Menschen durch Anlagerung zweier ursprünglich voneinander getrennter Deckknochen des Schläfenbeins. Die gestaltige Ausprägung der artikulären Struktur an Os temporale und Mandibula ist eng mit der Gebissentwicklung und seinem funktionellen Einsatz verbunden [7]. Das Kiefergelenk liegt vor dem äußeren Gehörgang und ist die einzige bewegliche Verbindung zwischen Schädel und Unterkiefer. Durch das Kiefergelenk werden differenzierte Bewegungsabläufe wie Phonation, Schlucken, Sprechen, Nahrungsaufnahme und Nahrungszerkleinerung erst möglich. Im Gegensatz zu anderen Gelenken besteht es nicht nur aus Gelenkpfanne (Fossa mandibularis) und Gelenkkopf (Caput des Processus condylaris), sondern hat zusätzlich innerhalb der Gelenkkapsel einen Gelenkhöcker (Tuberculum articulare), der den komplexen Bewegungs-mechanismus gewährleistet.

Der Condylus (bestehend aus Caput und Collum mandibulae) hat die Form einer quergestellten bohnenförmigen Walze [4]. Die Größe und Form ist sehr unterschiedlich. Die Längsachse des Gelenks läuft von anterior medial nach posterior lateral. Der

Winkel zwischen Längsachse und Frontalebene variiert zwischen 10° - 33° (Durchschnitt: 21°) [8]. Die Längsachsen beider walzenförmigen Gelenkköpfe schneiden sich in einem stumpfen Winkel von ca. 145° - 160° am Vorderrand des Foramen magnum [9]. Die gedachte Achse, um die sich die Condylen bei der Öffnungs- und Schließbewegung drehen, nennt sich „Scharnierachse“ [10] (Abb. 1).

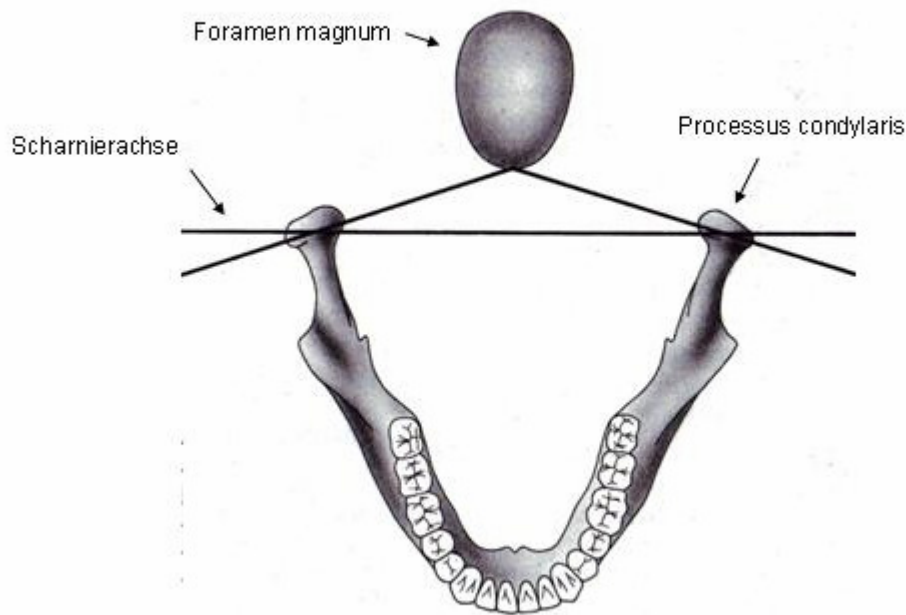


Abb. 1: Darstellung der Winkel der Condylen zueinander (Unterkiefer und Foramen magnum) [10].

Die Fossa mandibularis ist ovalär bis quadratisch geformt, wobei nur der ventrale Abschnitt als Gelenkfläche dient und mit Faserknorpel überzogen ist. Der dorsale Abschnitt ist von derbem Bindegewebe bedeckt und liegt extrakapsulär. Ventral ist die Fossa mandibularis durch das Tuberculum articulare begrenzt, welches intraartikulär liegt.

Das Tuberculum articulare ist ebenfalls mit Faserknorpel, der kleine Lücken aufweisen kann [4], überzogen und fällt dorsal in die Fossa mandibularis. Die Gelenkflächen der Fossa mandibularis und des Tuberculum articulare haben keinen Kontakt mit der Gelenkfläche des Condylus. Dazwischen liegt eine faserknorpelige Zwischenscheibe

(Discus articularis), die allseits mit der Gelenkkapsel so verwachsen ist, dass das Kiefergelenk in einen oberen diskotemporalen und einen unteren diskomandibulären Teil unterteilt wird.

Der Discus articularis besteht aus einem dichten dreidimensionalen Netzwerk aus avaskulären fibrösen Kollagenfasern, die zu einer hohen geweblichen Resistenz gegenüber elastischen Deformationen führen. Im Alter differenzieren sich einige Fibroblasten in Chondrozyten und infolgedessen entstehen im Diskus kleine Inseln aus hyalinen Knorpel [11]. In der Sagittalebene lässt sich der Diskus in drei Bereiche einteilen: eine dünne intermediäre Zone (ca. 1 mm), die keine Blutgefäße und Nervenfasern enthält, einen posterioren Randwulst (ca. 3 mm breit) und einen anterioren Randwulst (ca. 2 mm breit) [8]. Im gesunden Kiefergelenk weist der Diskus eine bikonkave Form auf, wobei der posteriore Diskuspol bis zum höchsten Punkt des Condylus reicht und die Intermediärzone dem anterioren Bereich anliegt. Nach dorsal geht der Diskus in ein oberes und unteres Band der so genannten bilaminären Zone über. Das obere Band enthält elastische Fasern und reicht bis zur Fissura petrotympanica. Das untere Band der bilaminären Zone weist kollagene Fasern auf und zeigt eine Befestigung dorsokaudal des Condylus. Der Raum zwischen oberem und unterem Band wird von lockerem Bindegewebe, vielen Fettzellen, Nervenfasern, Blutgefäßen und insbesondere einem Venengeflecht, das an- und abschwellen kann, durchzogen. Zusammen bilden sie das retroartikuläre plastische Polster. Anterior setzt das Caput superior des zweiköpfigen Musculus pterygoideus lateralis am Diskus an und spielt somit eine sehr wichtige Rolle bei der anterioren und posterioren Bewegung des Diskus während der Funktion. Das Caput inferior des Musculus pterygoideus dagegen ist fest mit dem anterioren Anteil des Condylus verbunden (Abb. 2) und gewährleistet die anterioren und posterioren Bewegungen des Unterkiefers.

Die Gelenkkapsel (Abb. 2 a) umfasst Gelenkkopf, Gelenkgrube und Tuberculum articulare. Sie verbindet sich seitlich mit dem Rand der Gelenkpfanne und reicht bis zur Fissura petrotympanica. Der Oberrand der Gelenkkapsel ist an der Pars squamosa des Os temporale und der Unterrand am Collum des Processus condylaris befestigt. Es können auch einige Anteile des M. masseter und des M. temporalis über bindegewebige Faserzüge in den diskokapsulären Verband einstrahlen. Die

kollateralen Bänder (u. a. Ligamentum laterale, Abb. 3) werden durch den Nervus auriculotemporalis innerviert und sind vaskularisiert. Sie halten das Gelenk sicher in Position. Das Lig. laterale gilt dabei als biologisch adaptive Struktur, die normalerweise als sensorisches Endorgan funktioniert, was auch durch die dichte Innervation gezeigt wird [12]. Das Kiefergelenk wird durch den Nervus auriculotemporalis, der aus dem dritten Ast des Nervus trigeminus entspringt, innerviert. Die Vaskularisation erfolgt durch die Arteria auricularis profunda, die aus der A. maxillaris hervorgeht.

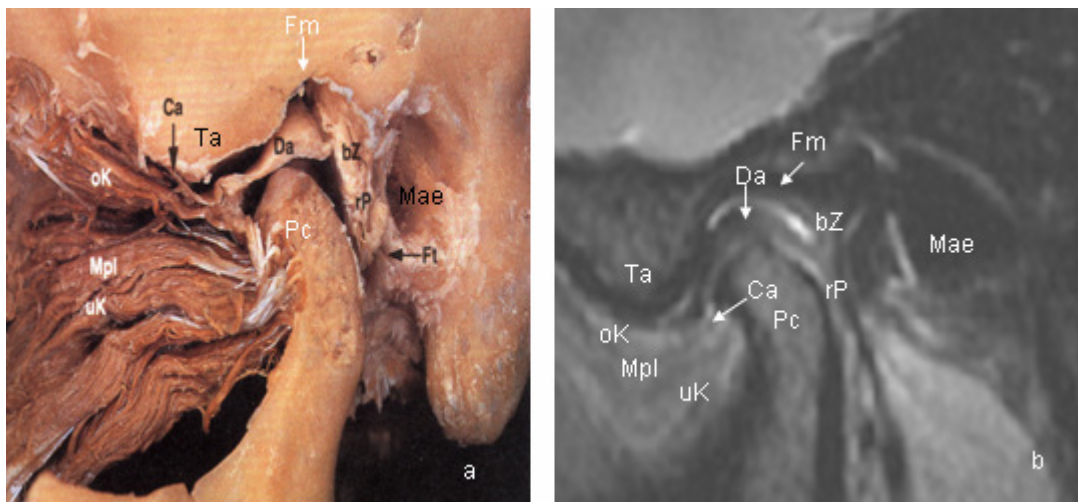


Abb. 2: a) Bild eines Kiefergelenks im anatomischen Präparat [13] (Ca: Gelenkkapsel, oK und uK des Mpl: oberer und unterer Kopf des Musculus pterygoideus lateralis, Da: Discus articularis, bZ: bilaminäre Zone, rP: retroartikuläres plastisches Polster, Ft: Fossa temporalis, Ta: Tuberculum articulare, Mae: Meatus acusticus externus, Pc: Processus condylaris, Fm: Fossa mandibularis). b) MRT-Bild in sagittaler Projektion in Ruheschwebelage

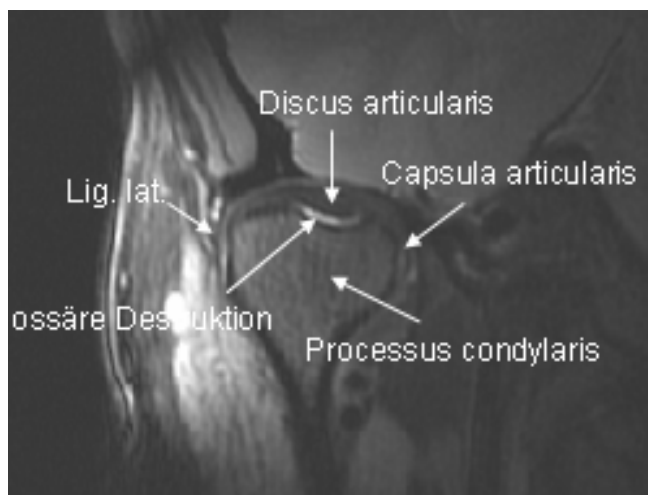


Abb. 3: MR-Aufnahme 3,0 T PD FSE in coronarer Projektion

1.2.2 Funktion des Kiefergelenks

Das Kiefergelenk dient nicht nur den mastikatorischen (die Kaufunktion betreffend) Bewegungen, sondern auch dem Schlucken, Sprechen und Gähnen. Die Unterkieferbewegungen sind Kombinationen mehrerer Hauptbewegungen:

Öffnungs- und Schließbewegung, Abduktion und Adduktion

Die Öffnungsbewegung läuft in zwei Phasen ab. Die Schwerkraft und die Mundbodenmuskulatur bewirken bei Tonusminderung der Kiefergelenkadduktoren eine geringe Rotation der Condylen. Nun zieht das Caput superior des M. pterygoideus lateralis die Condylen und damit den gesamten Unterkiefer nach ventrokaudal und somit auf das Tuberculum articulare. Dies beschreibt eine Dreh-Gleit-Bewegung. Die Grenzposition der Mundöffnung nennt sich „**maximale Mundöffnung**“. Die Schneidekantendistanz bei einer max. Mundöffnung beträgt bei einem gesunden Kiefergelenk 40 bis 50 mm [10].

Bei der Schließbewegung gleiten Diskus und Condylus über das Tuberculum articulare nach dorsokraniel. An dieser Bewegung sind der Musculus temporalis, M. massetericus und M. pterygoideus medialis beteiligt. Die letzten beiden bilden die „Masseterschlinge“, die am Unterkieferwinkel ansetzt. Die Zähne haben nur etwa 20 Minuten pro Tag Kontakt. Die meiste Zeit des Tages haben die Zahnreihen bei entspannter Kaumuskulatur, mimischer Muskulatur und Nackenmuskulatur einen Abstand von 2 bis 3 mm. Diese Position des Unterkiefers nennt sich „**Ruheschwebelage**“ [10].

Vor- und Rückschubbewegungen (Protrusion und Retrusion)

Bei der Protrusion und Retrusion gleiten die Condylen entlang der sagittalen Condylenbahn nach anterior und posterior.

Seitwärtsbewegung (Laterotrusion und Mediotrusion)

Bei der Laterotrusion bewegt sich jeweils der von der Arbeitsseite entgegengesetzte schwingende Condylus und gleitet entlang der sagittalen Condylenbahn nach anterior oder posterior. Der ruhende Condylus dagegen weist nur eine leicht dreidimensionale Ausgleichsbewegung auf.

1.2.3 Ätiologie und Definition der degenerativen Erkrankungen des Kiefergelenks

Die Erkrankungen des Kiefergelenks können in primäre (erworbene) und die wesentlich häufigeren sekundären (funktionellen) Kiefergelenkserkrankungen eingeteilt werden [12].

1.2.3.1 Die primären Erkrankungen

Traumatische Arthritis

Eine traumatische Arthritis ist die entzündliche Antwort auf eine direkte oder indirekte Krafteinwirkung auf das Kiefergelenk. Es kommt zu einer Schädigung der Gelenkfläche, einer Dehnung der Gelenkkapsel und/oder einer Überdehnung oder einem Riss der Bänder.

Infektiöse Arthritis

Die infektiöse Arthritis entsteht durch Infektion des Gelenkraums mit Erregern, wie zum Beispiel durch Staphylo- und Streptokokken als Folge von Infektionen des Mittelohrs, des Processus mastoideus oder auch der Zähne.

Chronische Polyarthritis

Das Kiefergelenk ist bei der rheumatoiden Arthritis des Erwachsenen und der juvenilen rheumatoiden Arthritis bei Jugendlichen nur zu 2/3 aller Polyarthritispatienten beteiligt [12].

Arthritis psoriatica

Sie ist von der rheumatoiden Arthritis als seronegative, erosive Arthritis abzugrenzen. Das Ausmaß der Kiefergelenksbeteiligung reicht von völliger Beschwerdefreiheit bis zu einer fibrösen Ankylose.

Metabolische Arthritis

Bei der metabolischen Arthritis, die auch Gicht oder Pseudogicht genannt wird, kommt es zur Kristallablagerung aus Calciumpyrophosphatdihydrat in den Gelenken. Diese Kristalle entstehen durch einen gestörten Metabolismus aus Harnsäure.

Ankylosierende Spondylitis

Die ankylosierende Spondylitis gehört zu der Gruppe von Kiefergelenkerkrankungen mit genetischer Disposition, den so genannten seronegativen Arthropathien. Es kann zu Kiefergelenkschmerzen und zur Steifheit des Gelenks kommen.

Ankylose

Bei der Ankylose kommt es zur bindegewebigen oder knöchernen Verwachsung der Gelenkanteile. Sie tritt sehr selten auf. Ursache ist meist ein Trauma, eine Infektion oder eine chronische Entzündung. Wesentlich häufiger ist die bindegewebige Verwachsung, häufig zwischen Discus und Fossa articularis lokalisiert. Ursachen sind u. a. Hämatome, lang anhaltende Synovitiden und anteriore Diskusdislokationen ohne Reposition.

Entwicklungsstörungen

Zu den kongenitalen Erkrankungen zählen Aplasien/Hypoplasien (Franceschetti-Syndrom, Pierre-Robin-Syndrom), Hyperplasien (Morbus Paget, Morbus Recklinghausen, Akromegalie) und Dysplasien (u. a. Dysostosis cleidocraniales, Goldenhar-Syndrom, Robin-Syndrom, Down-Syndrom, Peters- und Hoeve-Syndrom).

Tumore

Tumore sind in benigne und maligne Veränderungen zu unterteilen. Die raumfordernde Komponente der Tumore stellt sich meist klinisch durch Palpation oder durch das Symptom einer Kieferklemme diagnostisch dar. Zu den benignen, odontogenen Tumoren zählen Zysten, Ameloblastome und Pindberg-Tumore. Zu den benignen nicht odontogenen Tumoren gehören Exostosen, Osteome, Histiocytosis X, fibroossäre Läsionen, Hämangiome und neurogene Tumore wie das Neurofibrom [7]. Das Karzinomgewebe, das den Unterkiefer infiltriert, hat seinen Ursprung oft in der Mundhöhle oder in der Nasennebenhöhle und entspricht histologisch einem Plattenepithelkarzinom. Daneben tritt auch das Mukoepidermoidkarzinom auf. Es entsteht aus Speicheldrüsengewebe der Glandula parotidea, der Glandula sublingualis oder der Glandula submandibularis [7].

1.2.3.2 Sekundäre Kiefergelenkerkrankungen (funktionelle Erkrankungen)

Diskusverlagerungen und Binnenschaden oder Internal Derangement

Das ID ist eine der häufigsten Erkrankungen des Kiefergelenks. Nach Krestan ist das ID des Kiefergelenks als eine abnorme räumliche Beziehung zwischen Collum mandibulae, Discus articularis und Fossa articularis mit dem damit assoziierten Erscheinungsbild definiert [14]. Bei bis zu 72 % der Patienten mit Kiefergelenksbeschwerden [15] und 33 % der klinisch asymptomatischen Individuen lässt sich ein ID nachweisen [16]. Diskusverlagerungen sind bei Frauen 3- bis 5-mal häufiger als bei Männern [17]. Vogl schreibt, dass 80-90 % der Patienten mit ID Frauen im Alter zwischen 25 und 45 Jahren sind [13]. Ein mögliches Erklärungsmodell stellen die Östrogenrezeptoren im Discus articularis dar [18]. Zur Ätiologie der Diskusverlagerungen werden verschiedene Hypothesen diskutiert. Eine der wichtigsten Ursachen ist die Malokklusion. Durch eine unharmonische Okklusion kommt es zur Überbeanspruchung und in weiterer Folge zu einer Schädigung der Binnenstruktur des Kiefergelenks. Aber auch eine Hypertension des Unterkiefers, die durch maximale Mundöffnung erfolgt, wie zum Beispiel beim Gähnen oder bei zahnärztlichen Behandlungen kann eine Ursache sein. Traumatische Einflüsse, wie ein stumpfer Schlag, führen zu intraartikulären Weichteilverletzungen, aber auch psychogene Faktoren können ein ID verursachen. Eriksson verfasste eine Arbeit über das grundlegende Verständnis zur Entstehung einer Diskusdislokation. So stellte er an explantierten Kiefergelenken von Leichen fest, dass zur Entstehung einer anterioren Diskusdislokation lediglich eine Verletzung des unteren Anteils des posterioren Bandes erforderlich ist, ein kompletter Riss ist nicht Bedingung [19]. Rammelsberg postulierte: „Strukturelle Veränderungen beginnen meist im Bereich des Gelenkknorpels. Dabei nehmen Diskusverlagerungen als Vorstufe von arthritischen Gelenkveränderungen eine Schlüsselrolle ein“ [12]. Es werden aber auch zunehmend Infektionen (z.B. Chlamydia trachomatis) [20] und immunologische Vorgänge [21] als Ursache diskutiert.

Histopathologische und klinische Folgen des Internal Derangement

Folgen der geänderten Druckbelastung durch das ID im Kiefergelenk sind aus histopathologischer Sicht: Irregularitäten der Diskusoberfläche, Degeneration der

Kollagenfasern, myxomatöse Degeneration, dystrophe Mineralisation und metaplastische Knochenformationen [22].

Klinisch kommt es zu Kiefergelenksknacken oder Reibegeräuschen, Deviationen bei Mundöffnung zur Gegenseite, eingeschränkter Mundöffnung, Kiefergelenksperre und signifikanter Schmerzsymptomatik.

Anteriore Diskusverlagerung

Die klinische bedeutendste Form der intraartikulären Funktionsstörung ist die Verlagerung des Discus articularis nach anterior. Man unterscheidet eine partielle und eine komplette anteriore Diskusverlagerung. Eine anteriore Diskusverlagerung Grad 1 liegt vor, wenn bei der partiellen Diskusverlagerung der posteriore Diskuspol zwischen einer 10- und 11-Uhr-Position liegt. Kommt der posteriore Diskuspol zwischen 9- und 10-Uhr-Position zur Darstellung, dann handelt es sich um eine anteriore Diskusverlagerung Grad 2 [13] (Abb. 4).

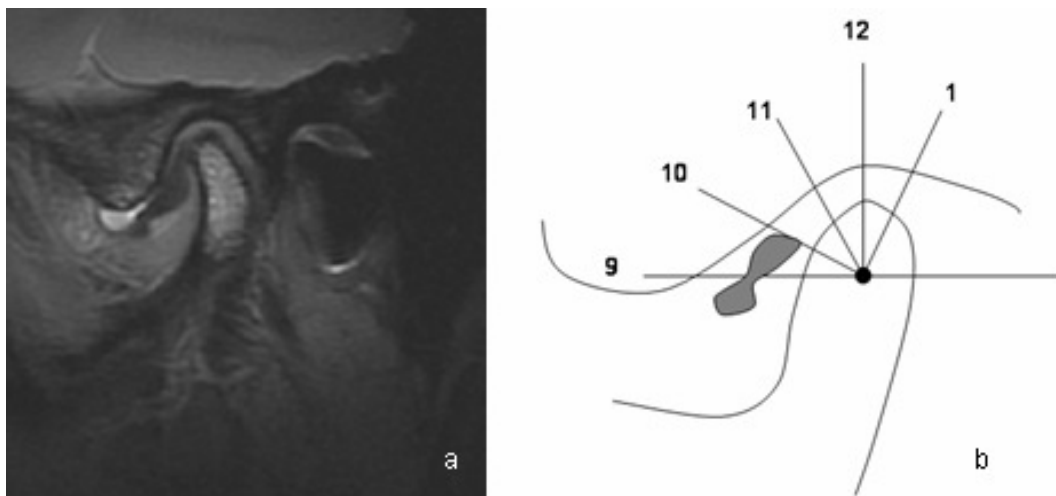


Abb. 4: a) MR-Aufnahme 3,0 T, sagittale Projektion, Ruheschwebelage, anteriore Diskusposition Grad 2 mit entzündlicher Veränderung, b) Skizze der Einteilung der Diskusverlagerung nach Uhrzeigerstellung nach Vogl [13] (hier eine anteriore Diskusverlagerung in 10-Uhr-Position)

Bei der kompletten anterioren Diskusverlagerung liegt der Diskus ventral des Condylus und hat keinen Kontakt mit der Artikulationsfläche des Condylus.

Wichtig für die Diagnose der Diskopathien ist die Frage der Reponierbarkeit des Discus articularis. Unter anderem werden die Diskusmobilität und die Funktionalität des diskalen Aufhängeapparates sowie die Füllkomponenten der bilaminären Zone

beurteilt. Durch die statische MR-Bildgebung in mundoffener und mundgeschlossener Position ist die Diskusposition eindeutig zu erkennen. Die Diskusreponierbarkeit allerdings ist nur eingeschränkt zu beurteilen. Ob der Diskus bei jeder Unterkieferbewegung reponiert wird oder nur zufällig bei dieser Aufnahme, lässt sich nicht genau ermitteln. Ein möglicher Ausweg wären dynamische Sequenzen.

Anteriore Diskusverlagerung ohne Reposition

Bei fehlender Reposition ist der Diskus bei Mundöffnung zu weit vorverlagert, so dass er keinen Kontakt mit der Artikulationsfläche hat, oder es handelt sich um einen Diskusabriss. Beide Befunde können magnetresonanztomographisch exakt erfasst werden [13].

Posteriore Diskusverlagerung

Die posteriore Diskusverlagerung tritt im Vergleich zur anterioren Diskusverlagerung seltener auf. Sie wird ebenfalls in zwei Grade eingeteilt: Grad 1: posteriorer Diskuspol zwischen 12 und 13 Uhr (siehe Abb. 5) und Grad 2: der anteriore Diskuspol liegt auf oder hinter dem superioren Condyluspol.

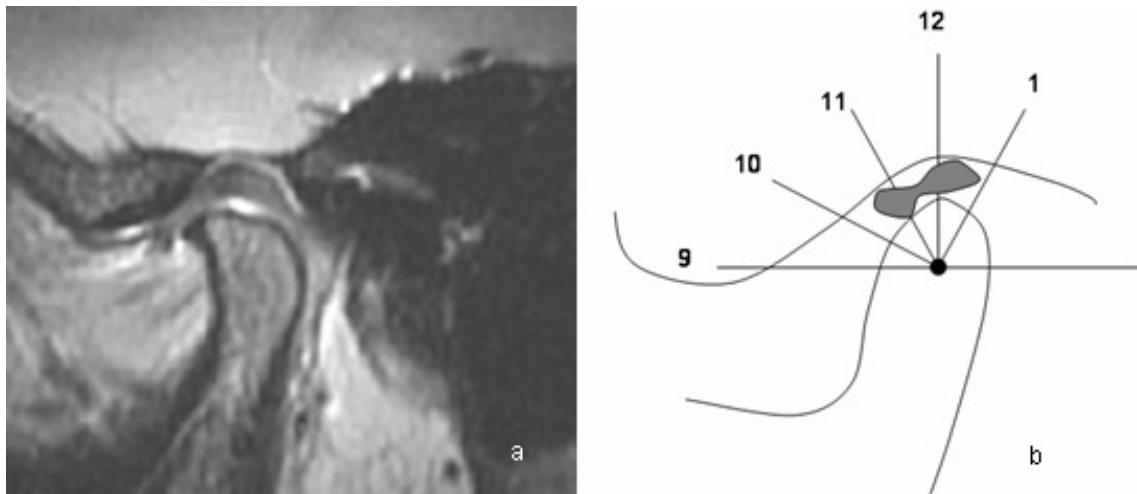


Abb. 5: a) MR-Aufnahme 3,0 T (PD FSE FS) sagittale Projektion Ruheschwebelage, posteriore Diskusverlagerung Grad 1, ossäre Strukturveränderung des Condylus (Osteophyt). b) Skizze posteriore Diskusverlagerung Grad 1.

Transversale Diskusverlagerung

Die transversalen Diskusverlagerungen sind eingeteilt in rein mediale, rein laterale, anterior-laterale und anterior-mediale Diskusverlagerungen. Dies lässt sich besonders in coronarer Projektion visualisieren (siehe Abb. 6). Die einzelnen Rotationsformen sind schwierig zu diagnostizieren [7].

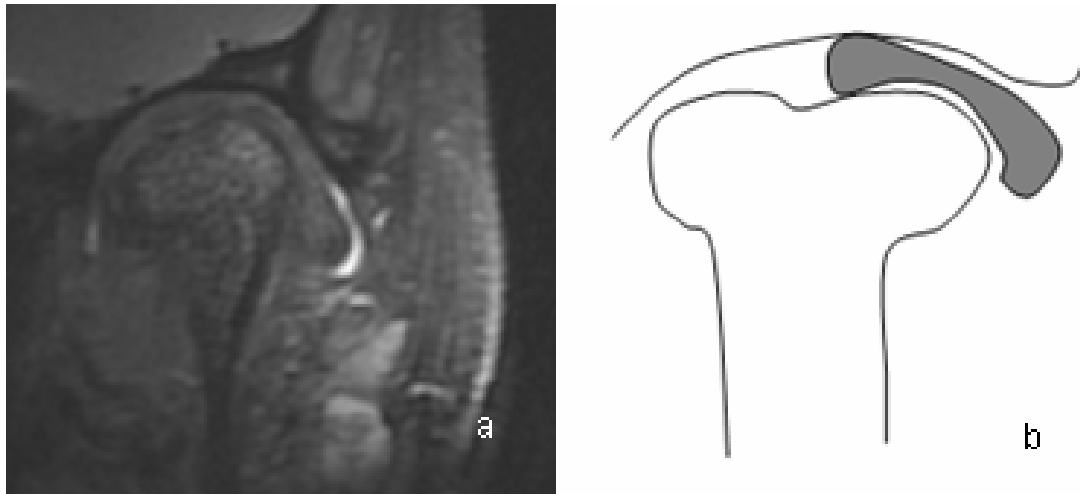


Abb. 6: a) MR-Aufnahme: Discus articularis nach lateral verlagert. b) Skizze einer lateralen Diskusverlagerung

1.3 Bildgebende Verfahren zur Kiefergelenkdiagnostik

1.3.1 Computertomographie

Die CT (speziell Mehrschicht-Spiral-CT) und das MRT gehören heute je nach Fragestellung zu den Standarduntersuchungsmethoden. Die Beurteilung ossärer Strukturen, wie zum Beispiel Anomalien des Kiefergelenks, Frakturen oder arthrotische Veränderungen ist eine Domäne der CT [4]. Hayashi hat in seiner Studie 2001 MR- und helikale CT-Aufnahmen mit anteriorer Diskusverlagerung in maximaler Mundöffnung und geschlossenem Mund direkt miteinander verglichen. In dieser Studie fand er heraus, dass es keinen Unterschied zwischen MR- und CT-Aufnahmen gibt [23]. Allerdings bezog er sich nur auf die anteriore Diskusverlagerung in zwei Unterkieferstellungen. Robinson schreibt, dass die CT der MRT unterlegen ist [14]. Für die funktionelle Diagnostik des Temporomandibulargelenks hat sich die MRT (Feldstärke 1,5 Tesla) als Goldstandarduntersuchungsverfahren etabliert [2]. Nachteil der CT ist u. a. die hohe Exposition an ionisierender Strahlung und die schlechte

Darstellung von Weichgewebe.

1.3.2 Sonographie

Die Sonographie ist der MRT und der CT bei Kiefergelenksfragestellungen unterlegen. Der größte Nachteil der Ultraschalldiagnostik ist, dass man die Position des Diskus nur ungenau identifizieren kann. Das liegt daran, dass die Echos des Diskus ähnlich denen der Gelenkkapsel sind. Die Detailgenauigkeit und Bildqualität sind schlechter als in der CT und MRT [23]. Die Sonographie ist indiziert bei Verdacht auf Gelenkentzündungen oder tumorösen Prozessen [24]. Jank hat dynamische hochauflösende Ultraschalluntersuchungen (HR-US) durchgeführt und ist zu dem Ergebnis gekommen, dass dynamische Ultraschalluntersuchungen zwar eine Alternative zur MRT darstellen, allerdings nicht in der Lage sind, die MRT zu ersetzen [25]. Sie ist eine schnelle und günstige Alternative und findet Verwendung, wenn Kontraindikationen für die MRT bestehen.

1.3.3 Konventionelles Röntgen

Die konventionelle Röntgenaufnahme dient der Beurteilung der Symmetrie und von Leitstrukturen des Temporomandibulargelenks. Ebenfalls ist sie bei traumatologischer Fragestellung indiziert. Hierzu werden Aufnahmen nach Schüller (in drei unterschiedlichen Funktionsstellungen) und Panoramaschichtaufnahmen angefertigt [7]. Die Vorteile sind das schnelle Verfahren und die günstigen Kosten [24]. Leider ist das Weichgewebe fast gar nicht zu beurteilen und es existiert eine Strahlenexposition durch ionisierende Strahlung.

Weitgehend durch die MRT ersetzt ist die Arthrographie. Nachteilig erwiesen sich hier die durch die Invasivität der Untersuchung entstehenden Risiken, wie Infektion, Diskusperforation und allergische Reaktion [24].

1.3.4 Invasive Arthroskopie

Die Arthroskopie hat als invasive Methode der Kiefergelenksdiagnostik an Bedeutung verloren [7]. In der Arthroskopie wird durch Direktpunktion in das diskocondyläre oder in das diskotemporale Gelenkkompartiment eine Sonde mit einer Kamera eingeführt und das Gelenk beurteilt. Dies wird heutzutage nur selten durchgeführt. Die MRT und in einigen Bereichen die CT haben die Arthroskopie als diagnostische

Routineuntersuchung abgelöst. Mögliche Komplikationen sind starke Schmerzen, Infektionsrisiko und Gefahr der Diskusperforation [24].

1.3.5 Magnetresonanztomographie (MRT)

1.3.5.1 Historie der Kernspintomographie

Beginn der grundlegenden Forschungsarbeiten für Magnetresonanztomographie war Ende der 30er und Anfang der 40er Jahre des 20. Jahrhunderts durch Isidor Isaac Rabi (Nobelpreis für Physik 1944). Er entwickelte die Resonanzmethode zur Untersuchung von magnetischen Eigenschaften des Atomkerns. Purcell entdeckte 1945 die Resonanzabsorptionserscheinung des Kernmagnetismus und erhielt zusammen mit Bloch 1952 den Nobelpreis für Physik. Das erste MRT-Bild wurde in den 70er Jahren in einem Tierexperiment von Lauterbur erstellt (geboren 1929). Ihm gelang es, ein zweidimensionales Bild zu erstellen, in dem er Gradienten zur Ortskodierung in ein magnetisches Feld einfügte. Mansfield (geboren 1933), Nottingham, England, entwickelte die Nützlichkeit der Gradienten in einem magnetischen Feld weiter. Er zeigte, dass die Signale mathematisch analysiert und zur Bilderzeugung genutzt werden können. Die Messzeiten der MR-Bildgebung wurden durch seine Erkenntnisse verkürzt, so dass es ihm 1978 zum ersten Mal gelang, einen menschlichen Thorax in vivo abzubilden [26]. Heute ist die Magnetresonanztomographie eine routinemäßige Methode der medizinischen Diagnostik. Die MRT hat etliche invasive Untersuchungsmethoden ersetzt. Dies hat das Risiko und die Leiden der Patienten reduziert. Lauterbur und Mansfield erhielten 2003 den Nobelpreis für Medizin. Katzberg beschrieb 1985 als Erster die Aufnahmen im MRT mit einer Oberflächenspule [27]. Lemke publizierte 2006 eine Studie über Aufnahmen der Orbita mit einer 4-cm-Oberflächenspule im 3,0-T-MRT. Zwar wurde das gemessene SNR und CNR im Vergleich zum 1,5 T erhöht, jedoch kam es zu keiner signifikanten Verbesserung der Bildqualität [28].

1.3.5.2 Bildqualität und Rauschabstand

Die Bildqualität ist abhängig von dem Signal-Rausch-Verhältnis. Das Rauschen ist der limitierende Faktor, der die zeitliche und/oder räumliche Auflösung begrenzt. Ein hohes SNR (Signal to Noise Ratio) ist für eine gute Bildqualität obligat [29]. Je größer der

Rauschabstand, desto besser die Bildqualität und desto kleiner ist das Bildrauschen. Eine der Hauptdeterminanten des Rauschabstands ist das statische Magnetfeld (B_0). Mit der Magnetfeldstärke von 3,0 Tesla (Magnetfeldstärke der Standard-MRT ist 1,5 T) wird diese Determinante überwunden. Mit der Erhöhung des statischen Magnetfeldes wird auch der Radiofrequenzimpuls (RF-Impuls) erhöht. Im 3,0 Tesla ist er doppelt so hoch (gemäß Larmor-Gleichung). Beim Empfang des Signals kämpft man immer gegen das Rauschen, in dem das Signal unterzugehen droht. Durch einen doppelt so großen RF-Impuls resultiert ein größeres MR-Signal, das in der Empfängerspule gemessen wird. Der Rauschabstand wird verbessert. Durch das verbesserte SNR kann auch eine Erhöhung der Bildauflösung erreicht werden. Ebenso kann man nun das FOV (Field of View) reduzieren, um eine größere Bildauflösung zu erlangen. Durch ein größeres Signal ist es möglich, die Schichtdicken zu reduzieren. Eine geringere Schichtdicke ist wichtig, um möglichst viele Schichten in einer Schichtebene zu erhalten. Es kann auch eine niedrigere Bandbreite gewählt werden, um ein besseres SNR zu erhalten. Dadurch wird zwar die Messzeit verlängert, jedoch liegt die Messzeit im 3,0-T-MRT immer noch in der gleichen Zeitspanne wie die Messzeit des 1,5-T-Gerätes (Messzeit pro Kiefergelenk).

Die räumliche Auflösung wird von folgenden Faktoren beeinflusst: durch die Gradientenstärke, die Feldstärke [30], die Konstruktion von Gradientensystemen [31], die verwendeten Sequenzen [32] und die Verwendung von Oberflächenspulen.

Die Verwendung von Oberflächenspulen bietet folgende Vorteile:

Die Empfangsqualität wird verbessert. Durch den verbesserten Rauschabstand ist eine höhere Auflösung möglich.

Körperregionen, die weiter von der Spule weg liegen, stören das Bild nicht, da sie außerhalb des Empfangsbereichs liegen [33].

Bewegungsartefakte werden reduziert. Durch den verbesserten Rauschabstand kann die Anzahl der nötigen Anregungen bei vergleichbarer Bildqualität verringert werden und die Zeit der Immobilisation des Patienten wird verkürzt [34].

1.3.5.3 Sicherheitsrisiken bei der Verwendung von Hochfrequenzsystemen

Es existieren drei Elemente, die Sicherheitsrisiken hervorrufen [35]:

- Durch die Stärke des statischen Magnetfelds kommt es zur Anziehung ferromagnetischer Materialien (metallische Gegenstände werden zu projektilartigen Geschossen), magnetischen Effekten bei metallischen Implantaten, Funktionsbeeinträchtigung elektromagnetisch beeinflussbarer Implantate (Herzschrittmacher) und biomagnetischen Effekten.
- Durch die Aktivierung der Gradienten kann es zur Stimulierung des peripheren Nervensystems durch Änderung des Aktionspotentials an den Membranen der Zellen kommen (vorübergehende Parästhesien, Muskelstimulationen etc). Dies ist nicht schädlich, bedeutet allerdings eine Beeinträchtigung des Patientenkomforts [36].
- Durch die Strahlenemission, die durch die Bestrahlung des Körpers mit elektromagnetischer Strahlung im Radiowellenbereich (RF-Impuls) auftritt. Diese Energie wird vom Körper absorbiert und in der *Spezifischen Absorptionsrate* (SAR [W / kg]) ausgedrückt. Wenn die SAR den durch die körpereigene Kühlleistung gegebenen Grenzwert überschreitet, kommt es zur Erhöhung der Körpertemperatur. Es kann auch zu RF-induzierten Verbrennungen auf der Hautoberfläche kommen, wenn EKG-Kabel oder Pulsoxymeterkabel [37] eine Schleife bilden und Hautkontakt haben [38]. Der Kreislauf wird geringfügig belastet. Es kommt zu keinerlei Strahlenbelastung durch ionisierende Strahlung [33].

Des Weiteren kommt es zu einer erheblichen Lärmbelastung von über 100 Dezibel durch das Ein- und Ausschalten der Gradienten. Deswegen muss eine Untersuchung immer mit Gehörschutz durchgeführt werden.

1.3.5.4 Kontraindikationen der MRT allgemein und speziell für das 3,0-T-System

Es gelten die Kontraindikationen und Sicherheitsbestimmungen wie bei allen anderen Kernspintomographen auch. Jedoch muss beachtet werden, dass mit steigender Feldstärke und daraus resultierenden höheren RF und höherer Gradientenfeldstärke

auch die Sicherheitsrisiken steigen [38]. So sollten keine ferromagnetischen Materialien in den Magnestraum gelangen (keine Insulinpumpen, Herzschrittmacher, Neurostimulatoren, Kugelschreiber, Uhren, magnetische Aneurysmaclips etc). Patienten mit Metallsplitter oder Projektilen im Körper (2. Weltkrieg oder Autounfall etc.) dürfen nicht im MRT untersucht werden.

Bei der Untersuchung mit unkooperativen Patienten (z. B. Patienten mit Lernschwierigkeiten), die nicht in der Lage sind ruhig zu liegen, ist eine MRT-Untersuchung aufgrund der Bewegungsartefakte nicht möglich. Ebenfalls schwierig ist die Untersuchung von Patienten mit Klaustrophobie. Bei 1-5 % muss die Untersuchung wegen klaustrophobischer Reaktionen abgebrochen werden [33].

In Tatoofarbpigmenten, die ins Stratum corneum eingebracht werden, sind organische Anteile enthalten, teilweise auch Pigmente mit ferromagnetischen oder stromleitenden Eigenschaften. Sie können u. a. Artefakte verursachen, indem sie die Magnetfeldhomogenität beeinflussen. Vereinzelt kam es auch schon zu Erwärmungen und/oder Anschwellen von Bereichen der Haut, die tätowiert waren oder ein „Permanent-Make-up“ aufwiesen. Klitscher berichtet über eine MRT-induzierte Verbrennung bei Tätowierung eines unfallchirurgischen Patienten. Die brennenden Schmerzen führten zum Abbruch der MRT-Untersuchung. Diese Verbrennungen treten höchst selten auf. Allerdings ist es wichtig, im Aufklärungsgespräch nach Tätowierungen zu fragen und eventuell mit kühlenden Kompressen die Erwärmung zu mindern [39].

Weitere Kontraindikationen sind metallhaltige, aber auch metallfreie Implantate (Kupferspirale zur Empfängnisverhütung, künstliche Linsen) im Körper des Patienten und Frauen in den ersten Schwangerschaftsmonaten. Zwar ist nicht bewiesen, dass die MRT die noch undifferenzierten Zellen des Embryos schädigen kann. Allerdings existiert eine erhöhte Verlustrate des Embryos im ersten Trimenon, die durch die MRT noch einmal erhöht werden kann, so dass von einer MRT-Untersuchung, falls sie nicht unbedingt notwendig ist, abzusehen ist.

Es ist nicht sicher, dass biomedizinische Materialien, die für das 1,5-T-System zugelassen sind, auch bedingungslos mit dem 3,0-T-System kompatibel sind. Scarabino schrieb 2003 [35], dass Patienten, die Materialien im Körper tragen, die für

das 1,5-Tesla-System zugelassen sind, vorerst nicht im 3,0-Tesla-Gerät untersucht werden sollten, bis weitere Daten gesammelt worden sind und diese zugelassenen Materialien und Geräte auch für das 3,0-T-MRT zugelassen sind.

Shellock [40] hat 109 unterschiedlich biomedizinische Implantate (Aneurysmaclips) und Geräte auf ihr interaktives Verhalten in einem 3,0-Tesla-Gerät getestet. Es wurden die Lageveränderungen und die Angulierung unter dem starken Magnetfeld des 3,0 T untersucht. 4 % davon zeigten ferromagnetische Interaktionen im 3,0-T-System. Diese Studie macht deutlich, wie wichtig eine ausführliche Anamnese mit anschließender Aufklärung und Einverständniserklärung ist. Genauso wichtig ist ein verantwortungsbewusstes Handeln von Arzt und medizinischem Personal, die immer das Nutzen-Risiko-Verhältnis von MRT-Untersuchungen abschätzen sollten.

1.4 Zielsetzung

Das Ziel der vorliegenden prospektiven Studie ist die Evaluation der Detailgenauigkeit von anatomischen Strukturen des Kiefergelenks, der Bildqualität, des SNR und die Diagnosen der Condylusmorphologie, die Diskusluxation und Diskusposition im Vergleich zwischen 1,5-T- und 3,0-T-MRT unter Verwendung von Oberflächenspulen. Es werden die signifikanten Unterschiede zwischen den beiden MRT, den beiden Untersuchern und den Unterkieferstellungen in den o. g. Parametern statistisch ausgewertet und dargestellt.